

2011 型除雪车滚刷焊接齿轮热处理及其表面镀锌

曾锐^{1,2}, 林振荣¹, 王超¹, 王建武¹

(1. 空军勤务学院 机场工程与保障系, 江苏 徐州 221000; 2. 解放军理工大学 野战工程学院, 南京 210007)

摘要: 目的 提高 2011 型除雪车滚刷焊接齿轮的综合力学性能和镀锌层质量。方法 热处理前齿面预留 0.4 mm 的磨削量, 硬度调质到 230 ~ 270HBW。焊接完成后, 立即在井式炉中消除焊接产生的热应力, 900 °C 高温入炉快速加热, 860 °C 保温淬火, 并及时回火。该焊接齿轮的电镀工艺分为预处理、活化、电镀、钝化和烘干五个步骤, 采用亚苄基丙酮作为主光亮剂的新型镀锌溶液进行电镀。结果 焊接齿轮进行整体调质热处理后, 焊缝区组织主要是细小均匀的回火索氏体, 力学性能优良稳定, 避免了 HAZ 区的软化、脆化、硬化, 预堆低碳钢后综合力学性能最好, 按此工艺生产的齿轮经检测全部合格。焊接齿轮电镀层主要成分为 Zn, 少部分为 Fe, Zn 的质量分数沿着基体金属向镀层方向递增, 而 Fe 递减。电镀层的厚度约为 6 ~ 8 μm, 镀锌层与基体附着紧密, 镀层无粗糙、起泡、裂纹、孔隙或局部无镀层的情况。结论 焊接齿轮齿面预留磨削量, 采用最小变形热处理工艺, 确保了尺寸精度, 降低了加工难度, 利于批量多规格工件的生产。采用堆焊过渡层焊后调质工艺, 可显著提高焊接齿轮的焊缝区域的综合力学性能。对焊接齿轮镀锌层进行国标检验的结果表明, 本文采用的镀锌溶液配方和电镀工艺效果良好, 电镀层厚度均匀, 分布合理, 致密度、附着力良好, 耐腐蚀性优良, 具有较大的推广应用价值。

关键词: 焊接齿轮; 热处理; 镀锌; 镀层质量; 致密度; 堆焊过渡层

中图分类号: TG156.6; TQ153.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2016)04-0189-04

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.04.031

Heat Treatment and Surface Zinc Plating of 2011-Snow Remover Rolling Brush Welding Gear

ZENG Rui^{1,2}, LIN Zhen-rong¹, WANG Chao¹, WANG Jian-wu¹

(1. College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China;

2. Department of Airfield Engineering, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: **Objective** To improve the comprehensive mechanical properties and zinc coating qualities of 2011-snow remover rolling brush welding gear. **Methods** Before Heat Treatment, the 0.4 mm Grinding length was reserved and the hardness was quenched and tempered to 230 ~ 270HBW. After welding, the heat stress was eliminated in the well type furnace at once by fast heating at 900 °C in furnace, quenching at 860 °C, and tempering in time. The electroplating process was divided into five steps, pretreatment, activation, electroplating, passivation and drying. The new Zinc plating solution was used to electroplate. **Results**

收稿日期: 2016-02-02; 修订日期: 2016-03-23

Received: 2016-02-02; Revised: 2016-03-23

基金项目: 空军勤务学院青年科学基金(KY2014F048B)

Fund: Supported by Air Force Logistics College Youth Science Foundation(KY2014F048B)

作者简介: 曾锐(1980—), 男, 博士, 主要研究方向为机械装备。

Biography: ZENG Rui(1980—), Male, Ph. D., Research focus: mechanical equipments.

After quenched-tempered heat treatment, the weld area structure of Welding Gear was mainly composed of small and uniform tempered sorbite, which led to the excellent and stable mechanical properties, and the softening, embrittlement, and hardening of the HAZ zone were avoided. The gears which were processed and manufactured by means of pre-stack low carbon steel showed the best comprehensive mechanical performance and were tested to be qualified. The main component of the coating was Zn, and there was a small part of Fe. The mass fraction of Zn increased along the base metal to the coating, and Fe showed the opposite trend. The thickness of the plating layer was about $6 \sim 8 \mu\text{m}$, and the zinc coating was closely attached to the gear. The coating showed no roughness, foaming, cracks, porosity or local uncoated situations. **Conclusion** The minimum deformation heat treatment process was used for gear welding, which ensured the dimensional accuracy, reduced the processing difficulty, and was conducive to the production of the workpieces. The mechanical performances of weld area were significantly improved by the process of bead welding transition layer. The national standard test showed that the electroplated coating had uniform thickness, reasonable distribution, good density, adhesion and corrosion resistance. The zinc plating solution and electroplating process of this paper had a great value of popularization and application.

KEY WORDS: welding gear; heat treatment; zinc plating; coating quality; density; bead welding transition layer

2011 型除雪车滚刷传动齿轮工作时受较大的交变冲击载荷,且工况条件较为阴冷、潮湿,要求其具有良好的综合力学性能和防腐蚀性能。传动齿轮齿圈材料为 34CrNiMo,轴材料为 42CrMo,其具有较高的强度和耐磨性,焊接性能良好^[1-3]。原齿轮采用整体锻造、中频淬齿的工艺,但在实际应用中发现,齿部和端面容易开裂,不利于批量多规格工件的生产,且该齿轮和传动轴采用普通的电镀镀锌方法防生锈^[4-6],析氢状况较为严重,镀层容易脱皮、起泡,镀层均匀性无法保证,电镀时间较长时,镀层部分易烧焦^[7-10],大大缩短了使用寿命。为了解决上述问题,本文将 2011 型除雪车滚刷传动齿轮的制造工艺改为焊接结构和整体淬火工艺,然后采用一种对该焊接齿轮表面覆盖和分散能力较好的镀锌工艺^[11],并进行了相关的力学性能试验和镀层质量测试。

1 工艺方案

1.1 热处理工艺方案

焊接结构的齿轮在进行热处理时应重点解决以下问题。

1) 焊接 HAZ 区的力学性能下降。焊接过后的 HAZ 区高碳马氏体的含量增多,再加上焊接过程中加热难以均匀,近缝区会出现高温回火区,使结构强度下降,造成齿轮整体的脆化和硬化。

2) 焊缝区开裂、变形。焊接结构的齿轮在加热、冷却过程中,由于导热系数的不同,齿轮表面和内部温度变化难以同步,热胀冷缩不一致,产生热应力,易造成齿轮开裂和变形。此外,不同材料的相变点 A_{c1} 、

A_{c3} 、 M_s 不同,组织转变不同时,使得组织应力加大,增大了齿轮焊接区的开裂和变形倾向。

针对上述问题,制定了如下热处理工艺方案。

1) 齿轮预留精车量热处理或者热处理后再滚齿,尺寸精度虽然高,但热处理后硬度高,滚齿困难。综合考虑工艺的加工性,决定齿面预留 0.4 mm 的磨削量进行热处理,热处理后齿部变形量必须小于 0.4 mm^[12-13]。

2) 对单个零件进行预先热处理,硬度调质到 230 ~ 270HBW。细化晶粒、均匀组织,减少焊后的调质变形量。

3) 焊接完成后,立即在井式炉中消除焊接产生的热应力,减少焊缝区的开裂倾向和变形量。

4) 为了减少零件自重产生的变形,在井式炉中将焊接齿轮竖直装炉,进行淬火和回火。首先, 900 °C 高温入炉快速加热,860 °C 保温淬火,尽量减少加热时间,防止氧化变形和脱碳;然后零件垂直入油淬火,零件冷却到 M_s 点以下时停止搅拌,缓慢冷却,降低组织应力;最后及时回火,消除淬火时产生的内应力。

1.2 电镀工艺方案

电镀前对完成热处理的齿轮进行预处理:首先在温度为 60 ~ 65 °C 的含 12% (质量分数,下同) 氢氧化钠、5% 碳酸钠、7% 磷酸钠、0.5% OP-10 乳化剂的溶液中脱脂处理 20 min。水洗后,用温度为 20 ~ 25 °C 的含 18% 盐酸、0.2% 六次甲基亚胺、0.2% OP-10 乳化剂的溶液酸洗 15 min。然后放入 5% 的盐酸溶液活化 8 s 左右,活化后水洗。

镀锌溶液配方:氯化钾 60 g/L,氯化锌 40 g/L,氯化铵 20 g/L,苹果酸 3 g/L,OP-20 乳化剂 1 g/L,肉桂酸 0.1 g/L,主光亮剂 0.2 g/L,聚乙二醇 1 g/L,pH 值

为 1.8~2.4。试验中分别采用香草醛、邻硝基苯甲醛及亚苄基丙酮作为主光亮剂对焊接齿轮件进行镀锌,对比试验表明,亚苄基丙酮更适用于该类经热处理部件的镀锌层制备^[11,14-15]。

电镀工艺过程:将齿轮放入制备好的挂钩上镀锌,保持电流密度 J_k 为 0.5 A/dm^2 ,预镀 5 min。然后将 J_k 调整为 1 A/dm^2 ,加入配好的主光亮剂与肉桂酸混合溶液,调整电流密度,将镀锌液的 pH 值控制在 1.8~2.4,电镀时间为 20~30 min,齿轮件表面形成均匀镀锌层。将镀锌后的齿轮件放入 1 g/L 硫酸、0.2 g/L 硝酸和 60 g/L 铬酐混合而成的钝化液中钝化 8 s,热水洗涤 10 s,最后放入 60℃ 的干燥箱干燥 15 min。

2 试验与分析

2.1 金属性能试验

为了验证热处理工艺的有效性,对将焊后调质齿轮与原齿轮的金属性能进行对比测试。其中焊后调质分为堆焊过渡层和不堆焊 2 种。

采用 LDW200-4XB 型台式光学显微镜观察原齿轮和调质齿轮的金相组织,如表 1 所示。

采用 wew-1000b 液压万能试验机测量原齿轮和调质齿轮的力学性能,如表 2 所示。

表 1 金相组织对比
Tab.1 Comparison of metallographic structure

No.	Before welding	After welding	Weld metal area	Heat-affected zone
1			B+M(trace) B+F+M(few)	
2		860℃ quenching 500℃ tempering	Tempering S	Tempering S
3	Pre-stack low carbon steel	860℃ quenching 500℃ tempering	Tempering S+F+P	Tempering S+F+P(few)

表 2 力学性能对比
Tab.2 Comparison of mechanical properties

No.	Before welding	After welding	Tensile strength/ (N·mm ⁻²)	Extensibility /%	Impact ductility /J
1			973.2	7.1	37.1
2		860℃ quenching 500℃ tempering	1218.2	6.5	40.6
3	Pre-stack low carbon steel	860℃ quenching 500℃ tempering	1369.4	5.5	66.3

由表 1 和表 2 可知,由于未经热处理的原齿轮组织结构具有上贝氏体,残余应力较大,使得综合力学性能下降。而焊接齿轮进行整体调质热处理,焊缝区组织主要是细小均匀的回火索氏体,力学性能优良稳定,可以避免 HAZ 区的软化、脆化、硬化,预堆低碳钢后综合力学性能最好。

根据以上试验结果与分析,按照堆焊过渡层的焊后调质工艺进行齿轮的加工生产,按此工艺生产的齿轮全部合格,检测结果如表 3 所示。

表 3 齿轮检测结果
Tab.3 Gear test results

	Radial pulsation of gear /mm	End face pulsation of gear/mm	Tooth axis bending /mm	Hardness (HBW)
Technical requirement	<0.40	<2.0	<2.5	350~380
Detection result	0.30~0.40	1.0~1.1	1.5~1.8	370~380

2.2 电镀层质量试验

将堆焊过渡层的焊后调质齿轮,按照 1.2 节的电镀工艺进行电镀,并进行镀层质量测试试验。

2.2.1 镀层铁锌含量分布

采用 JSM-6360LV 扫描电镜(SEM)扫描待测金属的电镀层区域,如图 1 所示。采用 Genesis 2000 XM60S EDAX 能谱仪对扫描区域的电镀层进行成分分析,如图 2 所示,表 4 为镀层中元素化学成分。

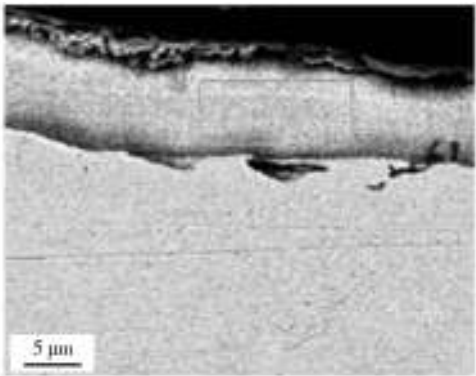


图 1 待测电镀层区域

Fig.1 Coating area to be measured

由图 1、图 2 和表 4 可以看出,电镀层主要成分为 Zn,少部分为 Fe。Zn 的质量分数沿着基体金属向镀层方向递增,而 Fe 递减。这是因为在电镀的起始阶段,基体金属上的 Fe 原子与 Zn 原子形成合金,而随着电镀过程的不断进行,镀层主要以 Zn 形成高分子

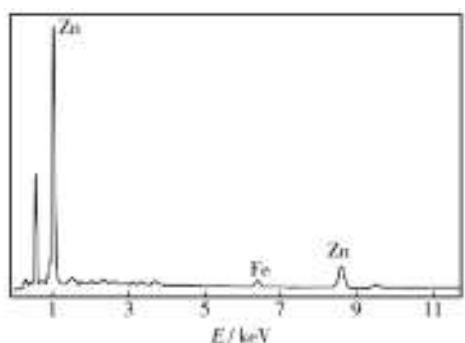


图2 镀层成分分析能谱

Fig. 2 Energy spectrum of coating components analysis

表4 电镀层成分

Tab. 4 Coating components

Element	Mass fraction/%	Atomic number fraction/%
Zn	95.17	94.61
Fe	4.83	5.39

配合物为主,基体金属表面被 Zn 层所覆盖,所以距离基体金属较远的外部镀层主要是 Zn,这可以显著增强基体金属的防腐性能。

2.2.2 镀层致密度与厚度

电镀层放大 5000 倍时的表面形貌如图 3 表示,下部为基体金属,中部为镀锌层,上部为 SEM 测试时的镶嵌组织。电镀层致密度良好,确保了附着力和优良的防腐性能。通过测量镀锌层不同部位的厚度可知,其厚度约为 6~8 μm ,厚度均匀,达到国家规定标准。

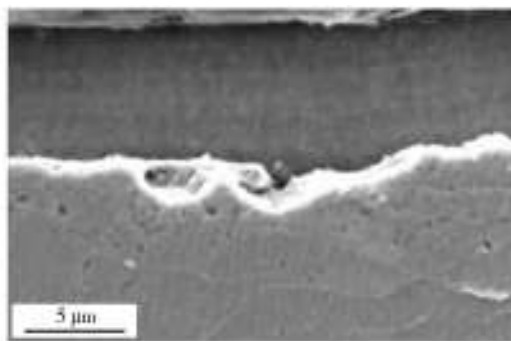
图3 电镀层 SEM 照片(5000 \times)

Fig. 3 SEM photo of the coating

2.2.3 镀层附着力

按照 GB/T 5270—2005 附着强度试验方法,对镀锌层附着力强度进行测试试验。

1) 剥离试验。用 2 kg 的辊子将 25 mm 的 3M 纤维胶带贴在试验样本的覆盖层上,排除气泡后等待

10 s,以一个垂直于覆盖层表面的准恒定拉力,把胶带剥离。试验未发现覆盖层剥落现象,表明该部件覆盖层与基体附着力较强。

2) 划痕试验。采用标准锐刃的硬质钢划刀,间隔 2 mm 划 6 条平行线,在划平行线时按标准穿过覆盖层切割到基体。试验未发现覆盖层剥落现象,表明该部件覆盖层与基体附着紧密。

2.2.4 外观与防腐蚀

按照 GB/T 9799—1997 锌电镀层标准对镀层的外观进行检测。将该部件放在等同于 60 瓦日光灯、1 m 内的照射距离条件下,距离 30 cm 进行观察。观察中未发现镀层有粗糙、起泡、裂纹、孔隙或局部无镀层的情况,但存在表面不平整的现象,这是由于基体金属自身的缺陷造成的。

按照 GB/T 10125—1997 进行盐雾试验,96 h 没有出现腐蚀点,这表明该部件表面的镀锌层厚度均匀、致密,耐腐蚀性能优良。

3 结论

1) 焊接齿轮齿面预留磨削量,采用最小变形热处理工艺,确保了尺寸精度,降低了加工难度。

2) 采用堆焊过渡层焊后调质工艺,可显著提高焊接齿轮的焊缝区域的综合力学性能,且无开裂,加工生产的齿轮符合检测结果。

3) 扫描电镜和能谱仪显示焊接齿轮的电镀层主要成分为 Zn,少部分为 Fe,Zn 的质量分数沿着基体金属向镀层方向递增,而 Fe 递减。电镀层厚度约为 6~8 μm ,厚度均匀,分布合理,致密度良好。

4) 对焊接齿轮镀锌层进行国标检验的结果表明,镀锌层与基体附着紧密,耐腐蚀性优良,镀层无粗糙、起泡、裂纹、孔隙或局部无镀层的情况。本文采用的镀锌溶液配方和电镀工艺效果良好,具有较大的推广应用价值。

参考文献

- [1] 彭福泉. 金属材料实用手册[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
PENG Fu-quan. Practical Handbook of Metallic Materials [M]. Beijing:Beijing Industry Press,1987.
- [2] 郑瑞庭. 铸铁件电镀工艺的改进[J]. 电镀与涂饰,2004, 2(2):56—58.

(下转第 207 页)

- 的分析研究[J]. 涂料涂装与电镀, 2005, 3(4): 39—41.
- WU Zhi-yong, LI Xue-yuan, GAO Fu-quan. The Analysis of Chemical Oxidating on Alloy Steel (60Si2Mn) [J]. Coatings Painting & Electroplating, 2005, 3(4): 39—41.
- [8] PISONERO J, FERNANDEZ B, PEREIRO R, et al. Glow-discharge Spectrometry for Direct Analysis of Thin and Ultra-thin Solid Films [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2006, 25(1): 11—18.
- [9] HOFFMANN V, DORKA R, WILKEN L, et al. Present Possibilities of Thin-layer Analysis by GDOES [J]. Surface and Interface Analysis, 2003, 35: 575—582.
- [10] SHINIZU K, HABAZAKI H, SKELDON P, et al. Gdoes Depth Profiling Analysis of the Air-formed Oxide Film on a Sputter-deposited Type 304 Stainless Steel [J]. Surface and Interface Analysis, 2000, 29: 743—746.
- [11] ANGELI J, BENGTSON A, BOGAERTS A, et al. Glow Discharge Optical Emission Spectrometry: Moving Towards Reliable Thin Film Analysis: A Short Review [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2003, 18: 670—679.
- [12] PAYLING R, JONES D G, BENGTSON A. Glow Discharge Optical Emission Spectrometry [M]. New York: Wiley, 1997.
- [13] BOGAERTS A, GIJBELS R. Fundamental Aspects and Applications of Glow Discharge Spectrometric Techniques [J]. Spectrochimica Acta Part B, 1998, 53: 1—42.
- [14] 余兴. 辉光放电光谱法在深度分析上的应用现状 [J]. 中国无机分析化学, 2011, 1(1): 53—60.
- YU xing. Current Status for the Applications of Glow Discharge Optical Emission Spectrometry (GD-OES) in Depth Profiling Analysis [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2011, 1(1): 53—60.
- [15] 张允诚, 胡如南, 向荣. 电镀手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- ZHANG Yun-cheng, HU Ru-nan, XIANG Rong. Handbook of Electroplating [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
-
- (上接第 192 页)
- ZHENG Rui-ting. Improvement of Electroplating of Iron Castings [J]. Electroplating and Finishing, 2004, 2(2): 56—58.
- [3] 邓文英. 金属工艺学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- DENG Wen-ying. Technology of Metals [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [4] 李超群, 李新海, 王志新. 柠檬酸盐溶液电镀镍 [J]. 功能材料, 2010, 41(5): 903—905.
- LI Chao-qun, LI Xin-hai, WANG Zhi-xin. Electroless Plating of Citric Acid Solution [J]. Function Materials, 2010, 41(5): 903—905.
- [5] 王胜民, 何明奕, 赵晓军. 铸铁五金件的机械镀锌 [J]. 功能材料, 2007, 38(1): 151—154.
- WANG Sheng-min, HE Ming-yi, ZHAO Xiao-jun. Mechanical Zinc Plating of Cast Iron Hardware [J]. Function Materials, 2007, 38(1): 151—154.
- [6] 王兆伦, 杨宇翔, 陈娅如. 有机多磷酸盐电镀锌-镍合金的研究 [J]. 功能材料, 2005, 36(8): 1294—1299.
- WANG Zhao-lun, YANG Yu-xiang, CHEN Ya-ru. A Study on Electroplating of Zinc Nickel with HEDP [J]. Function Materials, 2005, 36(8): 1294—1299.
- [7] BARBOSA L L, CARLOS I A. Development of a Novel Alkaline zinc-iron Plating Bath Containing Sorbitol and the Chemical Physical and Morphological Characterization of the Zn-Fe Films [J]. Applied Surface Science, 2006, 201(11): 1695—1702.
- [8] ELHAJJAMI A, GIGANDET M P, De PETRIS-WERY M. Hydrogen Permeation Inhibition by Zinc-nickel Alloy Plating on Steel XC68 [J]. Applied Surface Science, 2008, 255: 1654—1659.
- [9] KAVITHA B, SANTHOSH P, RENUKADEVI M. Role of Organic Additives on Zinc Plating [J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 201: 3438—3441.
- [10] SHIBLI S M A, JABEERA B, ANUPAMA R I. Incorporation of Nano Zinc Oxide for Improvement of Electroless Nickel Plating [J]. Applied Surface Science, 2006, 153: 1644—1647.
- [11] 郑凯, 韩玉华, 胡晓辉. 铸钢件表面镀锌层的质量评价 [J]. 电镀与精饰, 2011, 33(11): 8—10.
- ZHENG Kai, HAN Yu-hua, HU Xiao-hui. Quality Evaluation of Galvanization Layer on Cast Steel Surface [J]. Plating and Finishing, 2011, 33(11): 8—10.
- [12] 高美兰, 白树全, 李鑫. 采煤机焊接齿轮轴热处理工艺研究 [J]. 新技术新工艺, 2011(11): 48—49.
- GAO Mei-lan, BAI Shu-quan, LI Xin. Research on Welding Gear Heat Treatment Process of Coal Mining Machine [J]. New Technology & New process, 2011(11): 48—49.
- [13] 高美兰. 调高齿条热处理变形的分析与控制 [J]. 新技术新工艺, 2001(12): 26—27.
- GAO Mei-lan. The Analysis and Control of Heat Treating Distortion on Rack of Regulating Height [J]. New Technology & New Process, 2001(12): 26—27.
- [14] ZHOU Y. New Technology of Electrophoresis [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2004.
- [15] LIANG Jun, HU Li-tian, HAO Jing-cheng. Improvement of Corrosion Properties Microarc Oxidation Coating on Magnesium Alloy by Optimizing Current Density Parameters [J]. Applied Surface Science, 2007, 253(16): 6939.